

ФИНИШНАЯ ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТАЛИ 38X2H2MA

Ключевые слова: хромникельмолибденовые стали, плазма, плазменная поверхностная закалка, твердость, микроструктура, прямая полярность тока, обратная полярность тока, упрочняющие технологии, закалочные структуры, металлографические исследования.

Современная промышленность предъявляет повышенные требования к работоспособности изделий и свойствам материалов, из которых они изготовлены. Решение вопросов повышения надежности, экономичности и ресурса выпускаемых деталей и узлов машин, агрегатов, ответственных конструкций требует применения материалов, способных работать в различных агрессивных средах, в условиях высокого перепада температур и давлений, повышенных вибраций при переменных контактных, ударных, статических нагрузках и т. д. [1, 2]. Многие параметры изделия в основном определяет состояние поверхностного слоя материала, из которого оно изготовлено.

Для изготовления ответственных, тяжелонагруженных конструкций (тяжелонагруженные валы, зубчатые колеса, шатуны и другие детали автомобиле- и станкостроения) используется качественная сталь 38X2H2MA – конструкционная хромникельмолибденовая легированная [3].

Многие детали из улучшаемых сталей работают в условиях поверхностного износа. Сопротивление износу обеспечивает высокая твердость, но после высокого отпуска твердость стали составляет 26–28 HRC. Повышение твердости поверхностного слоя при уникальных характеристиках сердцевины позволит существенно повысить эксплуатационные характеристики изделий и расширить области применения стали 38X2H2MA.

При выборе технологии поверхностной термообработки необходимо помнить о пониженной обрабатываемости резаньем. Оптимальным вариантом является финишное упрочнение, после которого не требуется механическая обработка поверхностного слоя.

Целью работы являлся поиск технологии финишной поверхностной закалки стали 38X2H2MA без оплавления поверхностного слоя.

Большие возможности для достижения поставленной цели имеются у плазменной поверхностной термической обработки. Наибольшее распространение для финишного поверхностного упрочнения получила плазменная обработка непереносной дугой (плазменной струей) [5].

При определенных преимуществах (плазменная струя электрически не связана с обрабатываемым изделием, что существенно расширяет диапазон обрабатываемых материалов, возможность обработки без подплавления поверхностного слоя) такая технология имеет ряд существенных недостатков: низкий эффективный к. п. д. нагрева поверхности, высокая тепловая нагрузка на плазмотрон; невысокие скорости нагрева и охлаждения поверхности изделия, необходимость применения специализированных источников питания с повышенным напряжением холостого хода [6–8].

Плазменная поверхностная термическая обработка дугой прямого действия позволяет повысить производительность обработки и в широких пределах регулировать глубину упрочненного слоя. При работе плазмотрона на токе прямой полярности распределение мощности по пятну нагрева подчиняется закону нормального распределения Гаусса. При таком распределении максимальная мощность сосредоточена в центре пятна нагрева и при достаточных значениях тока дуги вызывает подплавление обрабатываемой поверхности, что при финишной обработке недопустимо.

В отличие от плазменной дуги прямой полярности, плазменная дуга обратной полярности характеризуется более равномерным распределением тепловой мощности по поверхности изделия. Достигается это следующим образом: при работе плазмотрона в режиме дуги прямого действия обратной полярности обрабатываемое изделие является холодным катодом, а дуга относится к типу дуг с нестационарными катодными пятнами, блуждающими по его поверхности.

Одной из отличительных особенностей нестационарных пятен является кратковременность их существования и большая плотность тока в них ($j \sim 105\text{--}106 \text{ А/см}^2$), при этом удельные тепловые потоки достигают значений ($q \sim 106\text{--}107 \text{ Вт/см}^2$), таким образом достигаются необходимые для поверхностной закалки скорости нагрева и охлаждения [9].

Были выбраны следующие варианты обработки:

1. Плазменная закалка на токе обратной полярности с линейным перемещением плазмотрона;
2. Плазменная закалка на токе обратной полярности с использованием закрытой дуги (рис. 1).

Измерения твердости и геометрических характеристик упрочненного слоя (табл. 1) показывают высокую эффективность выбранных вариантов плазменной обработки.

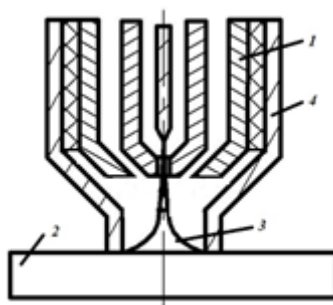


Рис. 1. Схема закрытой плазменной дуги: 1 – плазмотрон; 2 – изделие; 3 – плазменная дуга; 4 – защитная камера

Таблица 1

Результаты измерений

№ образца	Глубина слоя, мм	Ширина дорожки, мм	Твердость HB	Твердость HRC
1	1,3	14	512	52
2	1,1	23,8	321	35
Примечание: твердость стали при объемной закалке составляет HB 280, в состоянии поставки – HB 220.				

Исследования микроструктур упрочненных слоев, проведенные с помощью световой микроскопии, позволили получить следующие результаты (рис. 2, 3).

На всех образцах прослеживается сложная структура, представляющая собой последовательную смену закаленной зоны, переходной зоны и основного металла. Подплавление поверхности отсутствует на всех образцах. Микроструктура основного металла представляет собой феррито-перлитную смесь (рис. 2, 3, г). Кроме того, следует отметить, что в основном металле наблюдаются характерные полосы и выделения сульфидов, связанные с особенностями состояния поставки материала (ковка/прокатка).

Закаленная зона образцов 1 и 2 представляет собой мартенситную структуру различной дисперсности (рис. 2, 3, б). Структура переходной зоны образца 1 представляет собой феррито-карбидную смесь сорбитного типа (рис. 2, в). Структура переходной зоны образца 2 представляет собой структуру троостита отпуска (рис. 3, в). В структуре основного металла вблизи переходной зоны также заметны локальные выделения карбидов, предположительно хрома.

Использование обратной полярности, благодаря широким возможностям регулирования мощности сжатой дуги и тепловложения в обрабатываемое изделие, позволяет получать упрочненные слои достаточной ширины и глубины без применения сканирующих механизмов.

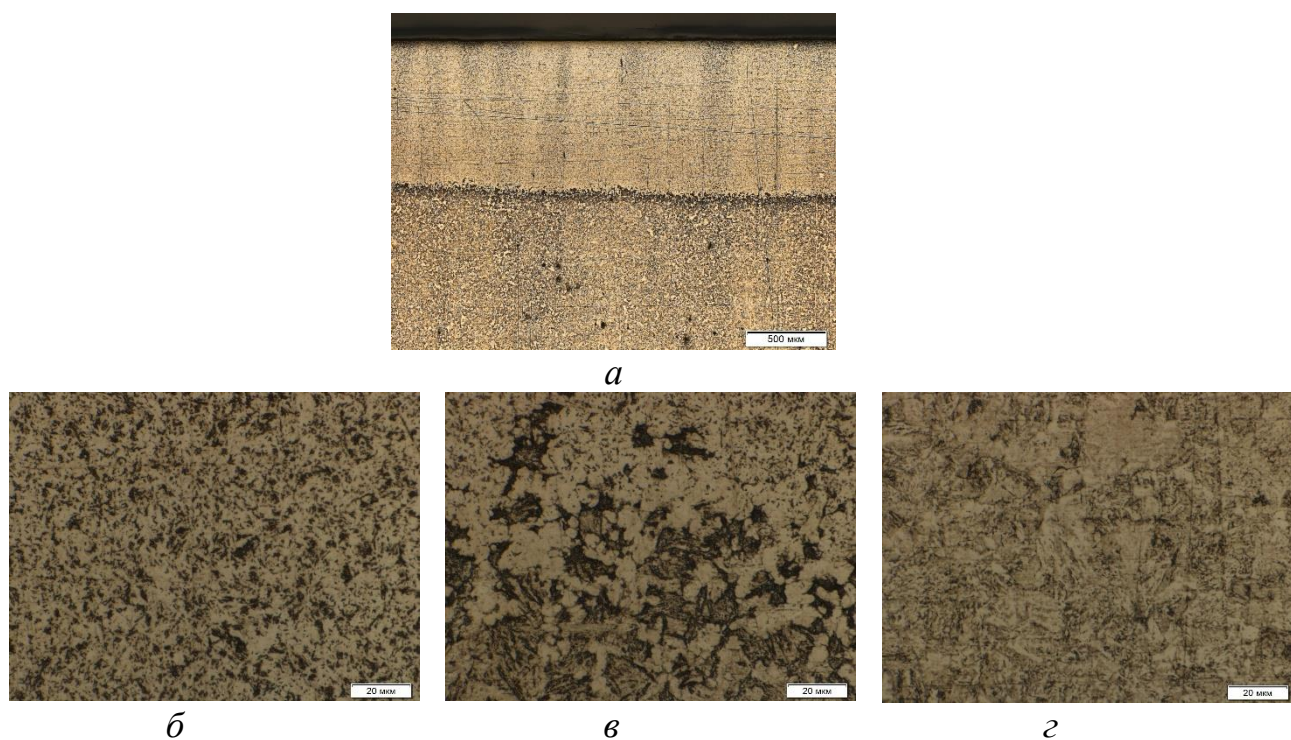


Рис. 2. Вид макро- и микроструктуры закаленной дорожки № 1: *а* – макроструктура; *б* – зона закалки; *в* – переходная зона; *г* – основной металл

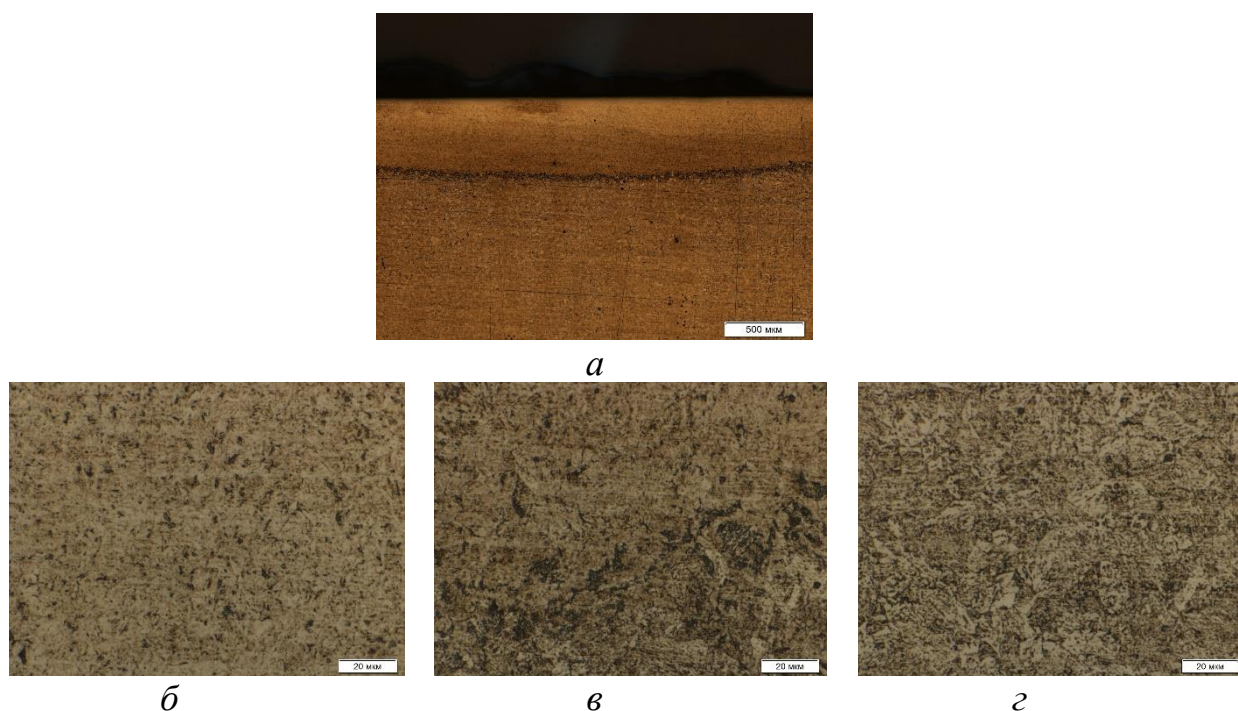


Рис. 3. Вид макро- и микроструктуры закаленной дорожки № 2: *а* – макроструктура; *б* – зона закалки; *в* – переходная зона; *г* – основной металл.

Работа выполнялась в рамках гранта Президента РФ для поддержки молодых кандидатов наук МК-3120.2017.8.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тюрин Ю. Н., Жадкевич М. Л., Мазунин В. М. Упрочнение металлических изделий с использованием импульсно-плазменной технологии // Сварщик в России. 2007. № 1. С. 48–52.
2. Сафонов Е. Н., Журавлев В. И. Поверхностное упрочнение железоуглеродистых сталей дуговой закалкой // Сварочное производство. 1997. № 10. С. 30–32.
3. Гольдштейн М. И., Грачев С. В., Векслер Ю. Г. Специальные стали. М.: Металлургия, 1985. 408 с.
4. Сафонов Е. Н. Новые материалы и технологические процессы для продления ресурса прокатных валков. Нижний Тагил: НТИ(ф) УГТУ–УПИ, 2005. С. 275.
5. Влияние технологии поверхностного упрочнения высококонцентрированным источником нагрева на структуру и трещиностойкость наплавленного металла и углеродистых сталей / Л. К. Лещинский [и др.]. // Сварочное производство. 1987. № 5. С. 3–5.
6. Плазменное поверхностное упрочнение / Л. К. Лещинский [и др.]. // Техника. 1990. 109 с.
7. Щицын В. Ю., Язовских В. М., Щицын Ю. Д. О тепловых нагрузках на сопло плазмотрона при работе на прямой и обратной полярности // Сб. тезисов Юбилейной 20-й НТК сварщиков Урала «Сварка Урала – 2001». Н. Тагил. 2001. С. 21.
8. Щицын Ю. Д., Косолапов О. А., Струков Н. Н. Распределение энергии сжатой дуги при работе плазмотрона на токе обратной полярности // Сварка и диагностика. 2010. №3. С. 13–16.